

This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

**As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problem Mailbox.**

THIS PAGE BLANK (USPTO)



⑮ BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

⑫ Patentschrift
⑩ DE 43 05 693 C 2

⑤ Int. Cl.⁸:
G 03 F 3/08
H 04 N 1/80

⑳ Aktenzeichen: P 43 05 693.8-51
㉑ Anmeldetag: 25. 2. 93
㉒ Offenlegungstag: 7. 10. 93
㉓ Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: 19. 12. 96

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

㉔ Innere Priorität: ㉕ ㉖ ㉗
08.04.92 DE 42 11 453.5

㉘ Patentinhaber:
Linotype-Hell AG, 65760 Eschborn, DE

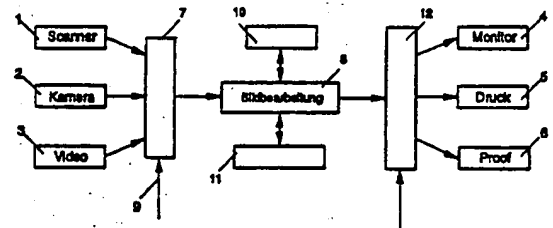
㉙ Erfinder:
Bestmann, Günter, 24161 Altenholz, DE

㉚ Für die Beurteilung der Patentfähigkeit
in Betracht gezogene Druckschriften:
US 49 41 039
US 49 41 038

㉛ Verfahren zur Farbkalibrierung

㉜ Verfahren zur Farbkalibrierung bei der Umsetzung von Farbwerten eines von einem Eingabegerät abhängigen ersten Farbraumes in die Farbwerte eines zweiten Farbraumes, bei dem

- die Übertragungsfunktion des Eingabegerätes, welche seine spektralen und elektrischen Eigenschaften berücksichtigt, ermittelt wird,
- aus Farbwerten des ersten Farbraumes die funktionsmäßig zugehörigen Farbwerte des zweiten Farbraumes an Hand der ermittelten Übertragungsfunktion in Form einer Umsetzungs-Tabelle näherungsweise berechnet und gespeichert werden,
- zur Gewinnung von Farbwerten des ersten Farbraumes eine Testvorlage, welche eine Anzahl definierter Testfarben enthält, mit dem Eingabegerät optoelektronisch abgetastet wird, wobei die Testvorlage jeweils dieselben Materialeigenschaften wie die mit dem Eingabegerät abzutastende Farbvorlage aufweisen soll,
- die durch Abtasten der Testfarben gewonnenen Farbwerte des ersten Farbraumes an Hand der Umsetzungs-Tabelle in die funktionsmäßig zugeordneten Farbwerte des zweiten Farbraumes umgerechnet werden,
- die Testfarben der Testvorlage mit einer vorgegebenen Lichtart farbmessungsmäßig ausgemessen werden, um gemessene Farbwerte des zweiten Farbraumes zu erhalten,
- die durch Abtasten der Testfarben und Umrechnung an Hand der Umsetzungs-Tabelle gewonnenen Farbwerte des zweiten Farbraumes mit den durch Ausmessen der entsprechenden Testfarben gewonnenen Farbwerten des zweiten Farbraumes verglichen werden, um Farbdifferenzwerte zu gewinnen und
- aus den gewonnenen Farbdifferenzwerten entsprechende Korrekturfarbwerte nach einem Ausgleichs-Verfahren berechnet werden, mit denen die in der Umsetzungs-Tabelle gespeicherten Farbwerte des zweiten Farbraumes korrigiert werden.



DE 43 05 693 C 2

DE 43 05 693 C 2

Beschreibung

Die Erfindung bezieht sich auf das Gebiet der elektronischen Reproduktionstechnik und betrifft ein Verfahren zur Farbkalibrierung bei der Umsetzung von Farbwerten eines von einem Eingabegerät abhängigen ersten Farbraumes in die Farbwerte eines zweiten Farbraumes bei der Bildverarbeitung.

Die Reproduktionstechnik befaßt sich mit Verfahren zur Wiedergabe von Bildvorlagen im Druck, bei denen von einer Vorlage eine Kopiervorlage als Basis für eine Druckform angefertigt wird. In einer Druckmaschine erfolgt mittels der Druckform die Reproduktion der Vorlage.

Der Prozeß zur Herstellung einer Kopiervorlage besteht im allgemeinen aus den Schritten Bildeingabe, Bildbearbeitung und Bildausgabe.

Bei der Bildeingabe z. B. mittels eines Farbbildabtasters (Scanner) werden durch trichromatische sowie bildpunkt- oder zeilenweise optoelektronische Abtastung von zu reproduzierenden Farbvorlagen drei primäre Farbwertsignale (R, G, B) gewonnen, wobei die einzelnen Farbwerttripel die Farbvorlage abgetasteten Bildpunkte repräsentieren. Die analogen Farbwertsignale werden in digitale Farbwerte umgewandelt und für die anschließende Bildbearbeitung gespeichert.

Bei der Bildbearbeitung werden die Farbwerte (R, G, B) in der Regel zunächst durch eine Basis-Farbkorrektur nach den Gesetzmäßigkeiten der subtraktiven Farbmischung in Farbauszugswerte (C, M, Y, K) umgesetzt, welche ein Maß für die Dosierung der im späteren Druckprozeß verwendeten Druckfarben "Cyan" (C), "Magenta" (M), "Gelb" (Y) und "Schwarz" (K) bzw. für die Rasterpunktgrößen oder Rasterprozente sind. Darüber hinaus werden bei der Bildbearbeitung weitere Farbkorrekturen durchgeführt mit dem Ziel, die Bildwiedergabe zu verbessern, Mängel auszugleichen oder redaktionelle Änderungen vorzunehmen.

Nach der Bildbearbeitung erfolgt die Bildausgabe mittels einer hierfür geeigneten Einheit, z. B. eines Farbauszugsbelichters (Recorder) für die gerasterte Aufzeichnung der Farbauszüge auf ein Aufzeichnungsmaterial (Film). Die heute üblichen Verfahren bei der Reproduktion von Farbvorlagen basieren im wesentlichen auf dem Prinzip der Farbdichtemessung mit einer direkten Separation der in dem Farbbildabtaster gewonnenen Farbwerte (R, G, B) in die Farbauszugswerte (C, M, Y, K).

Die Separation erfolgt nach den Techniken der herkömmlichen fotografischen Farbauszugsherstellung mittels der Farbmaskierung. Diese Separationen sind speziell an den verwendeten Typ des Farbbildabtastergerätes mit dessen spektraler Empfindlichkeit und Signalverzerrung angepaßt.

Die für den Druckprozeß notwendigen Korrekturen der Farbwertsignale (R, G, B) werden in der Praxis experimentell durch visuellen Vergleich zwischen Farbvorlage und dem Druckergebnis ermittelt. Eine Anpassung der Korrekturen an andere Druckprozesse sowie an andere Farbabtastgeräte mit anderer spektraler Empfindlichkeit ist oft schwierig und zeitaufwendig.

Da heute vielfach die Forderung erhoben wird, verschiedene Farbbildabtaster an ein Farbbild-Bearbeitungssystem bzw. einen Farbbildabtaster an verschiedene Farbbild-Bearbeitungssysteme anzuschließen, ist die Einführung eines definierten Standards an der Schnittstelle zwischen Farbbildabtaster und Farbbild-Bearbeitung von großem Vorteil. Dazu müssen die im Farbbildabtaster erzeugten Farbwertsignale auf den jeweiligen internen Standard des Farbbild-Bearbeitungssystems hin farbkalibriert werden.

Aus der Zeitschrift "Der Druckspiegel", No. 6, 1991, Seiten 580 bis 592, Artikel "Farbe in der Bildverarbeitung" ist es beispielsweise schon bekannt, die in einem Farbbildabtaster gewonnenen Farbwerte eines geräteabhängigen Eingabe-Farbraumes für eine universelle Farbdarstellung durch eine Farbraumtransformation in Farbwerte eines geräteunabhängigen Kommunikations-Farbraumes zu transformieren, die entsprechenden Korrekturen an Hand der transformierten Farbwerte vorzunehmen und dann die korrigierten Farbwerte durch eine weitere Farbtransformation in die entsprechenden Prozeßfarbwerte eines geräteabhängigen Ausgabe-Farbraumes umzuwandeln.

Die bekannten Verfahren zur Farbraum-Transformation basieren auf farbmétrisch definierten Werten und sind somit bei Farbbildabstastern mit undefinierten, d. h. mit nicht an den Normalspektralwert-Kurven der CIE (COMMISSION INTERNATIONALE DE L'ECLAIRAGE; Internationale Beleuchtungskommission) angepaßten Farbfiltern, nicht anwendbar.

Aus der US-A-4 941 038 ist ein Verfahren zur Farbkalibrierung bei der Umsetzung von Farbwerten eines von einem Eingabegerät abhängigen ersten Farbraumes in die Farbwerte eines unabhängigen zweiten Farbraumes bekannt, bei dem eine Farbtabelle farbmétrisch ausgemessen und mit einem Scanner abgetastet wird. Die durch Ausmessen und Abtasten gewonnenen Farbwerte werden einander tabellarisch zugeordnet und daraus durch Interpolation eine Umsetzungs-Tabelle gewonnen, an Hand der die beim Abtasten einer Farbvorlage gewonnenen Farbwerte des ersten Farbraumes in die Farbwerte des zweiten Farbraumes umgesetzt werden.

Die bekannte Farbkalibrierung hat den Nachteil, daß die Farbwert-Umsetzung verfahrensbedingt nicht mit hoher Genauigkeit durchführbar ist.

Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zur Farbkalibrierung bei der Umsetzung von Farbwerten eines von einem Eingabegerät abhängigen ersten Farbraumes in die Farbwerte eines zweiten Farbraumes derart zu verbessern, daß eine genauere Farbwert-Umsetzung im gesamten Farbraum und damit eine höhere Qualität bei der Farbbildproduktion erreicht wird.

Diese Aufgabe wird durch die Merkmale des Patentanspruchs 1 gelöst. Vorteilhafte Weiterbildungen sind in den Unteransprüchen angegeben.

Die Erfindung wird im folgenden an Hand der 1 bis 5 näher erläutert.

Es zeigen:

Fig. 1 den schematischen Aufbau eines Bildverarbeitungssystems,

Fig. 2 das Kommunikationsmodell eines Bildverarbeitungssystems.

Fig. 3 den schematischen Aufbau eines Farbbildabtasters,

Fig. 4 den schematischen Aufbau eines Farbumsetzers und

Fig. 5 den Verfahrensablauf bei der Farbkalibrierung in einer prinzipiellen Darstellung.

Fig. 1 zeigt den schematischen Aufbau und den Signalfluß eines Farbbildverarbeitungssystems. Punkt- und zeilenweise abtastende Eingabegeräte sind durch einen Scanner 1 repräsentiert, flächenweise abtastende Geräte durch eine Kamera 2 und Geräte zur Erzeugung farbiger graphischer Daten, wie z. B. Grafik-Design-Stationen durch eine Video-Eingabe 3. Die möglichen Ausgabegeräte sind durch einen Farbmonitor 4, einen Farbauszugs-Recorder oder Belichter 5 sowie einen Proof-Recorder 6 angedeutet. Die in den Eingabegeräten 1, 2, 3 erzeugten Farbwerte des jeweiligen geräteabhängigen Eingabe-Farbraumes, beispielsweise die Farbwerte R, G und B des RGB-Farbraumes, werden in einem dreidimensionalen Eingabe-Farbumsetzer 7 durch eine Eingabe-Farbtransformation in Farbwerte eines geräteunabhängigen Kommunikations-Farbraumes, beispielsweise in die Farbwerte L, a und b des CIELAB-Farbraumes der CIE von 1976, umgesetzt und einer Bildbearbeitungs-Einheit 8 zugeführt. Die Eingabe-Farbumsetzung von dem geräteabhängigen Eingabe-Farbraum in den Kommunikations-Farbraum erfolgt über ein Referenz-Farbsystem.

Erfindungsgemäß wird bei der Eingabe-Farbumsetzung eine Eingabe-Kalibrierung der Farbwerte in einer vor dem eigentlichen Betrieb liegenden Einstell- oder Kalibrier-Phase vorgenommen, wobei eine genaue Anpassung der Farbräume erfolgt.

Der dreidimensionale Eingabe-Farbumsetzer 7 ist z. B. als Tabellen-Speicher (LUT) ausgebildet, in dem die Ausgangs-Farbwerte, beispielsweise die Farbwerte L, a und b, durch die funktionsmäßig zugehörigen Eingangs-Farbwerte, beispielsweise die Farbwerte R, G und B, adressierbar gespeichert sind. Die Umsetzungs-Tabelle wird vor dem eigentlichen Betrieb berechnet und über einen Eingang 9 in den Eingabe-Farbumsetzer 7 geladen.

Die Umsetzungs-Tabelle kann für alle theoretisch möglichen Farbwerte des Farbraumes oder aber in vorteilhafter Weise zunächst nur für ein Stützwert-Gerüst von grob gestuften Farbwerten berechnet werden, wobei alle für die Farbtransformation tatsächlich benötigten Farbwerte durch eine dreidimensionale Interpolations-Rechnung an Hand des Stützwert-Gerüsts ermittelt werden. In diesem Fall weist der Eingabe-Farbumsetzer 7 zusätzlich eine Interpolations-Stufe auf.

Die Ausgangs-Farbwerte sind spezifisch für ein bestimmtes Eingabe- oder Ausgabegerät. Bei Austausch des Gerätes oder bei Veränderungen am Gerät muß die Umsetzungs-Tabelle neu ermittelt werden.

Der dreidimensionale Eingabe-Farbumsetzer 7 ist, wie in Fig. 1 dargestellt, eine separate Einheit, Bestandteil eines Eingabegerätes 1, 2, 3 oder Bestandteil der Bildbearbeitungs-Einheit 8.

In der Bildbearbeitungs-Einheit 8 werden die vom Anwender gewünschten Farbkorrekturen und geometrischen Bearbeitungen an Hand der transformierten Farbwerte des jeweils benutzten Kommunikations-Farbraumes durchgeführt. Dazu ist die Bildbearbeitungs-Einheit 8 mit einem Bedienungsterminal 10 verbunden, mit dem der Anwender die gewünschten Farbkorrekturen durchführt. Außerdem steht die Bildbearbeitungs-Einheit 8 mit einer Kommunikations-Einheit 11 in Verbindung, in der die zu bearbeitenden Farbwerte zwischengespeichert sind.

Nach der Bildbearbeitung werden die bearbeiteten Farbwerte aus der Bildbearbeitungs-Einheit 8 ausgelesen und in einem Ausgabe-Farbumsetzer 12 durch eine Ausgabe-Farbtransformation in die Prozeßfarbwerte eines gerätespezifischen Ausgabe-Farbraumes umgesetzt, die dem jeweiligen Ausgabegerät 4, 5, 6 zugeführt werden. Bei der Ausgabe-Farbtransformation findet eine entsprechende Ausgabe-Kalibrierung statt.

Fig. 2 zeigt ein Kommunikationsmodell für ein Farbbild-Verarbeitungssystem. Als Referenz-Farbsystem (13) dient das von CIE genormte XYZ-Farbwertsystem (CIEXYZ), das auf den visuellen Eigenschaften des menschlichen Auges basiert. Bei der Eingabe-Kalibrierung werden die Farbwerte (R, G, B) des geräteabhängigen Eingabe-Farbraumes der Eingabegeräte 1, 2, 3, im vorliegenden Fall des RGB-Farbraumes 14, zunächst in das Referenz-Farbsystems 13 transformiert. Anschließend werden die Farbwerte (X, Y, Z) des Referenz-Farbsystems 13 durch mathematisch definierte Transformationen in die Farbwerte eines auswählbaren, geräteunabhängigen Kommunikations-Farbraumes 15 umgewandelt, in dem die Bildbearbeitung stattfinden soll. Als geräteunabhängige Kommunikations-Farbräume 15 können beispielsweise die empfindungsgemäßen Farbräume YCC, YUV, YIQ, CIELAB, CIEUV oder LCH oder aber der abstrakte RGB-Farbraum bzw. ein davon abgeleiteter R'G'B'-Farbraum verwendet werden.

Nach der Bildbearbeitung erfolgt die Transformation der bearbeiteten Farbwerte des Kommunikations-Farbraumes 15 in die Prozeßfarbwerte des gerätespezifischen Ausgabe-Farbraumes, wobei wiederum eine entsprechende Ausgabe-Kalibrierung durchgeführt wird. Der Ausgabe-Farbraum ist ein geräteabhängiger RGB-Farbraum 16 für den Fall, daß das Ausgabegerät ein Farbmonitor 4 oder ein durch RGB-Farbwerte angesteuerter Proof-Recorder 6 ist. Für den Fall, daß als Ausgabegerät ein Farbauszugs-Recorder 5 oder ein durch CMYK-Farbwerte angesteuerter Proof-Recorder 6 verwendet wird, ist der Ausgabe-Farbraum ein YMCK-Farbraum 19.

Fig. 3 zeigt den schematischen Aufbau eines Farbbildabtasters zur punkt- und zeilenweisen, trichromatischen Abtastung von Aufsichts- oder Durchsichts-Farbvorlagen. Eine Lichtquelle 15 für Durchsichts-Abtastung oder eine Lichtquelle 16 für Aufsichts-Abtastung beleuchtet eine Farbvorlage 17 punkt- und zeilenweise durch eine Relativbewegung zwischen Lichtquelle (15 bzw. 16) und Farbvorlage 17. Das mit dem Bildinhalt der abgetasteten Farbvorlage 17 modulierte Abtastlicht wird mittels eines Strahlteilerblocks, der aus zwei dichroitischen Spiegeln 18 und zwei Spiegeln 19 besteht, und mittels Farbfilter 20 in drei Teilstrahlen unterschiedlicher spektraler Zusammensetzung zerlegt. Die Farbanteile "Rot" (R), "Grün" (G) und "Blau" (B) der Teilstrahlen werden in opto-elektronischen Wandlern 21 in analoge Farbmeßwertsignale umgewandelt und verstärkt. Der Dynamikbereich der analogen Farbmeßwerte beträgt etwa 3 bis 4 Zehnerpotenzen. Durch eine an das visuelle Helligkeitsempfinden angepaßte Signalverzerrung in Verzerrungs-Stufen 22 läßt sich dieser Dynamikbereich bei Bedarf an die in der digitalen Bildsignalverarbeitung übliche Signalauflösung von z. B. 8 Bit anpassen. Die analogen Farbmeßwertsignale werden dann in A/D-Wandlern 24 in digitale Farbmeßwerte R, G und B

umgewandelt und die Farbmeßwert-Tripel der abgetasteten Bildp
speichert. Die Digitalisierung wird dabei so vorgenommen, daß
Schwarz (Transmission oder Reflexion 0.0) und der digitale Farbme
oder Reflexion 1.0) entspricht. Es sind aber auch andere Zuordnung
bereich vorgesehen ist. Aus den Digitalwerten lassen sich aus de
Transmission der Farbvorlage zu Digitalstufen die Transmission
zurückgewinnen.

Fig. 4 zeigt den prinzipiellen Aufbau des dreidimensionalen Ein
sionalem Tabellen-Speicher 26, auch mit Look-Up-Table (LUT) bez
den Fall, daß die Umsetzungs-Tabelle zunächst nur für ein Stütz
berechnet wird und die während des Betriebes tatsächlich benötig
mentionale Interpolations-Rechnung ermittelt werden. Die zuvor b
le wurde über den Eingang 9 des Eingabe-Farbumsetzers 7 in dem
Farbwerte E_1 , E_2 und E_3 des Eingabe-Umsetzers 7, beispielsweise d
einem Register 28 zwischengespeichert und für die weiteren Operat
(MSB) und drei niederwertige Bits (LSB) zerlegt, wobei die hoch
Adressen und die niederwertigen Bits der Interpolations-Stufe 27
Interpolations-Stufe 27 werden dann aus den niederwertigen Bits
Interpolations-Stufe 27 über eine Leitung 29 zugeführt werden, In
tionswerte werden mit den Stützwerten in einem Addierer 30 zu
Eingabe-Farbumsetzers 7, beispielsweise zu den Farbwerten L , a u
ster 31 abgelegt.

Fig. 5 zeigt in einer prinzipiellen Darstellung den Ablauf des erfu
rung bei der Umsetzung der Farbwerte eines geräteabhängigen
vom Eingabe-Farbraum unabhängigen Kommunikations-Farbraum

In dem nachfolgend beschriebenen Beispiel werden die Farbw
Farbbildabtasters 1 in die Farbwerte L^* , a^* und b^* des CIELAB
Verfahrensschritte [A] bis [E] ablaufen.

Verfahrensschritt [A]

In einem Verfahrensschritt [A] wird die Übertragungsfunktion d
len und elektrischen Eigenschaften berücksichtigt, ermittelt. Anh
aus Farbwerten R , G und B des RGB-Farbraumes 14 die funktion
und $b^*(s)$ des unabhängigen CIELAB-Farbraumes 15 in Form eine
umsetzer 7 näherungsweise berechnet und in einem Tabellen-Spei
chert.

Dabei können gleichzeitig die durch unterschiedliche Farbpigme
rücksichtigt werden. Die näherungsweise Berechnung der Farbw
belle wird in folgenden Schritten durchgeführt.

In einem ersten Schritt [A₁] werden die eventuell vorverzerrten
nach Gleichung [1] linearisiert.

$$(R, G, B) = f^{-1}(R, G, B) \quad [1]$$

In einem zweiten Schritt [A₂] werden die Farbwerte R , G und B in
und Z mit Hilfe von Matrixkoeffizienten (M) matriziert nach Gleichung

$$(X, Y, Z) = M(R, G, B) \quad [2]$$

In einem dritten Schritt [A₃] werden die Normfarbwerte X , Y u
den Lichtart (Referenzweiß) entsprechend Gleichung [3] normiert.

$$(X, Y, Z) = A(X, Y, Z) \quad [3]$$

In einem vierten Schritt [A₄] werden dann die Normfarbwerte
Kommunikations-Farbraumes 15 nach Gleichung [4] transformiert

$$(L^*, a^*, b^*) = f(X, Y, Z) \quad [4]$$

In einem fünften Schritt [A₅] werden die Farbwerte L^* , a^* u
quantisiert

$$(L_q, a_q, b_q) = f(L^*, a^*, b^*) \quad [5]$$

sowie die quantisierten Farbwerte (L^* , a^* , b^*) in dem Tabelle
abgespeichert.

Durch die Wahl der fünf hochwertigen Bits zur Adressierung

Stufung der Umsetzungs-Tabelle von acht für alle drei Eingangs-Farbwerte R, G und B. Es müssen also Ausgangs-Farbwerte Lq, aq und bq zu allen Kombinationen {R, G, B} = {0, 8, 16, 248} berechnet werden.

Der Berechnung der Näherungslösung nach den Schritten [A₁] bis [A₃] liegen folgende Zusammenhänge zugrunde.

In einem Farbbildabtasters erfolgt die Messung der Farbwerte in einer Farbvorlage im allgemeinen nach dem Dreibereichsverfahren. Die Spektralwertfunktionen der Abtasteinheit müssen denen eines Normbeobachters der CIE von 1931 oder einer geeigneten Linearkombination hiervon entsprechen. Die Spektralwertfunktionen (r, g, b) als Übertragungsfunktion des Farbbildabtasters ergeben sich wie folgt aus Gleichung [6]:

$$\begin{aligned} r(\lambda) &= c_r \times S(\lambda) \times \tau_r(\lambda) \times R(\lambda) \\ g(\lambda) &= c_g \times S(\lambda) \times \tau_g(\lambda) \times R(\lambda) \\ b(\lambda) &= c_b \times S(\lambda) \times \tau_b(\lambda) \times R(\lambda) \end{aligned} \quad [6]$$

r(), g(), b() = Spektralwertfunktion des Farbbildabtasters,

c_r, c_g, c_b = Gerätekonstanten (Verstärkungsfaktoren),

τ_r, τ_g, τ_b = Spektrale Transmissionskurven der Farbfilter,

S(), R() = Spektralwertfunktionen von Lichtquelle und Lichtempfänger.

Unter Verwendung der Gleichung [6] ergeben sich die Farbwerte R, G und B durch Integration der Farbreizfunktion der Farbvorlage nach Faltung mit den Spektralwertkurven nach den Gleichungen [7] zu:

$$R = \int_{380\text{nm}}^{780\text{nm}} \Phi(\lambda) \times r(\lambda) \times d\lambda$$

$$G = \int_{380\text{nm}}^{780\text{nm}} \Phi(\lambda) \times g(\lambda) \times d\lambda$$

$$B = \int_{380\text{nm}}^{780\text{nm}} \Phi(\lambda) \times b(\lambda) \times d\lambda$$

mit Φ(λ) = Farbreizfunktion der Farbvorlage.

Die Farbwerte R, G und B werden dann in der Regel durch eine Vorverzerrung an das visuelle Empfinden des menschlichen Auges angepaßt, bevor sie digitalisiert und übertragen werden. Diese Vorverzerrung muß dann bei der Berechnung der Näherungslösung gemäß Schritt [A₁] vor der Transformation der Farbwerte R, G und B in die Normfarbwerte X, Y und Z rückgängig gemacht werden.

Die Transformation der Farbwerte R, G und B in die Normfarbwerte X, Y und Z des Normfarbraumes CIE XYZ von 1931 gemäß Schritt [A₂] zur Berechnung der Näherungslösung wird mit Hilfe von Matrizierungskoeffizienten M nach den Gleichungen [8] durchgeführt.

$$\begin{aligned} X &= M_{11} R + M_{12} G + M_{13} B \\ Y &= M_{21} R + M_{22} G + M_{23} B \\ Z &= M_{31} R + M_{32} G + M_{33} B \end{aligned} \quad [8]$$

Die Bestimmung der Matrizierungskoeffizienten M kann bei Kenntnis der Spektralfunktionen der Abtasteinheit durch eine Anpaßrechnung erfolgen. Sind die Spektralfunktionen nicht bekannt, müssen die Matrizierungskoeffizienten M experimentell durch Ausmessen von farbmetrisch definierten Farbfeldern einer Farbtafel bestimmt werden.

Im vorliegenden Beispiel erfolgt die Bestimmung der Matrizierungskoeffizienten M durch Anpassung der Spektralwertfunktionen, wobei die Anpassung derart erfolgt, daß die Summe der Fehlerquadrate über eine große Anzahl von spektralen Stützpunkten minimal wird. Die Bestimmung der Matrizierungskoeffizienten M erfolgt nach den Gleichungen [9] wie folgt:

$$\sum_i (M_{11} \times r_i + M_{12} \times g_i + M_{13} \times b_i - x_i)^2 = \text{Min}$$

$$5 \quad \sum_i (M_{21} \times r_i + M_{22} \times g_i + M_{23} \times b_i - y_i)^2 = \text{Min} \quad [9]$$

$$\sum_i (M_{31} \times r_i + M_{32} \times g_i + M_{33} \times b_i - z_i)^2 = \text{Min}$$

10

mit

 r_i, g_i, b_i = Stützwerte der Spektralwertfunktion des Farbbildabtasters, x_i, y_i, z_i = Stützwerte der Normspektralwertfunktionen der CIE von 1931 XYZ

15 und

 i = Spektralstützpunkt im Bereich von 380 nm bis 780 nm mit 10 nm Intervall.

Die Bestimmung der Matrizierungskoeffizienten M ist numerisch einfach und wird durch Variation der Koeffizienten durchgeführt, wobei anschließend derart normiert wird, daß für $R, G, B = 1.0$ Normfarbwerte $X, Y, Z = 1.0$ erreicht werden. Durch diesen Abgleich der Farbwerte auf gleiche Signalpegel bei einem Referenzweiß werden Normfarbwerte ermittelt, die auf Lichtart E des energiegelichen Spektrums bezogen sind. Wird eine der in der Reproduktionstechnik üblichen Lichtarten als Weißbezug gewünscht, so muß dies durch die aus der Literatur bekannte "von Kries"-Transformation zur Farbumstimmung durchgeführt werden. Dies geschieht durch eine erneute Matrizierung der XYZ-Farbwerte. Diese Matrix kann mit der in den Gleichungen [8] angegebenen Matrix zusammengerechnet werden.

25 Die Transformation der Normfarbwerte X, Y und Z des Normfarbraumes CIEXYZ in die Farbwerte L^*, a^* und b^* des CIELAB-Farbraumes gemäß Schritt [A₄] zur Berechnung der Näherungslösung wird nach Gleichungen [10] wie folgt durchgeführt:

$$30 \quad \begin{aligned} L^* &= 116 \times f(Y/Y_n) - 16 \\ a^* &= 500 \times [f(X/X_n) - f(Y/Y_n)] \\ b^* &= 200 \times [f(Y/Y_n) - f(Z/Z_n)] \end{aligned} \quad [10]$$

mit

$$35 \quad \begin{aligned} f(X/X_n) &= (X/X_n)^{1/3} && \text{für } X/X_n > 0.008856 \\ &= 7.787 \times (X/X_n) + 16/116 && \text{für } X/X_n < 0.008856 \end{aligned}$$

$$40 \quad \begin{aligned} f(Y/Y_n) &= (Y/Y_n)^{1/3} && \text{für } Y/Y_n > 0.008856 \\ &= 7.787 \times (Y/Y_n) + 16/116 && \text{für } Y/Y_n < 0.008856 \end{aligned}$$

$$45 \quad \begin{aligned} f(Z/Z_n) &= (Z/Z_n)^{1/3} && \text{für } Z/Z_n > 0.008856 \\ &= 7.787 \times (Z/Z_n) + 16/116 && \text{für } Z/Z_n < 0.008856 \end{aligned}$$

50 und X_n, Y_n, Z_n als Weißreferenz der gewünschten Lichtart.

Für andere Farbräume werden die zuvor erläuterten Berechnungen äquivalent durchgeführt.

Die nach Gleichung [10] berechneten Farbwerte L^*, a^* und b^* müssen auf die vorhandenen Digitalstufen der internen Darstellung abgebildet werden. Der Wertebereich der Helligkeit L^* liegt zwischen 0 und 100, der Wertebereich der Buntheiten a^* und b^* von Körperfarben erfahrungsgemäß zwischen -100 und +100. Bei einer internen Auflösung von 8 Bit bzw. 256 Digitalstufen sind die genannten Wertebereiche hierauf abzubilden.

55 Die Helligkeit L^* kann mit Hilfe eines Skalierungsfaktors auf den vollen Umfang der Digitalstufen abgebildet werden. Bei den Buntheiten a^* und b^* ist je nach Implementierung der Interpolationsschritte des Farbumsetzers eine Verschiebung des Nullpunktes notwendig, um ausschließlich mit positiven Werten zu arbeiten. Eine mögliche Quantisierung kann nach Gleichung [11] erfolgen.

$$60 \quad \begin{aligned} L_q &= [L_f \times L^*] \\ a_q &= [a_f \times a^*] + a_n \\ b_q &= [b_f \times b^*] + b_n \end{aligned} \quad [11]$$

65 mit

 L_q, a_q, b_q = Quantisierte CIELAB-Farbwerte, L_f, a_f, b_f = Quantisierungsfaktoren, a_n, b_n = Nullpunkt-Offset,

[...] = Rundungsfunktion auf nächste ganze Zahl

und $L_1 = 255/100$, $a_1 b_1 = 100/128$, $a_n b_n = 128$.

Verfahrensschritt [B]

5

In einem Verfahrensschritt [B] wird eine geeignete Testvorlage 33, welche eine Anzahl (j) von definierten Testfarben enthält, mit dem Farbbildabtaster 1 optoelektronisch abgetastet, wobei die Testvorlage 33 jeweils dieselben Materialeigenschaften wie die mit dem Farbbildabtaster 1 später abzutastende Farbvorlage 17 aufweist und die dabei gewonnenen Farbwerte R, G und B des RGB-Farbraumes (14) anhand der im Verfahrensschritt [A] ermittelten und in dem Tabellen-Speicher 32 des Eingabe-Farbumsetzers 7 abgelegten Umsetzungstabelle in die funktionsmäßig zugeordneten Farbwerte $L^*(s)$, $a^*(s)$ und $b^*(s)$ des Kommunikations-Farbraumes 15 umgerechnet.

Als Testvorlage 33 kann beispielsweise eine Farbtafel mit einer Anzahl (j) von Farbfeldern verwendet werden, wie z. B. die Farbtafeln der Firma Kodak (Q60-A, -B, -C). Die Anzahl der Farbfelder und ihre Häufigkeitsverteilung muß für das Kalibrierverfahren geeignet gewählt werden. Die Farbfelder sollten visuell gleichverteilt den Farbraum der Farbvorlage abdecken, vorzugsweise den Bereich wenig bunter Farben überproportional abdecken, da wenig bunte Farben häufiger als stark bunte Farben auftreten. Die Farbfelder werden in ihrem Helligkeitsumfang an den des in der Näherungslösung erhaltenen Umfangs angepaßt. Dies wird zweckmäßigerweise am hellsten Farbfeld der Testvorlage vorgenommen. Der Anpaßfaktor kann für eine Berechnung absoluter Vorlagenfarbwerte gespeichert werden.

Verfahrensschritt [C]

In einem Verfahrensschritt [C] werden die Testfarben der Testvorlage 33 mittels eines Spektralphotometers 34 als Normfarbwerte X, Y und Z für eine vorgegebene Lichtart ausgemessen und die Normfarbwerte X, Y und Z in einem Farbumsetzer 35 in die farbmétrisch exakten Farbwerte $L^*(m)$, $a^*(m)$ und $b^*(m)$ des Kommunikations-Farbraumes 15 umgerechnet.

Anstelle eines Spektralphotometers kann auch ein Colorimeters oder ein entsprechend kalibriertes Eingabegerät, insbesondere ein Farbbildabtaster 1, verwendet werden.

Verfahrensschritt [D]

In einem Verfahrensschritt [D] werden dann die im Verfahrensschritt [A] ermittelten Farbwerte $L^*(s)$, $a^*(s)$ und $b^*(s)$ der Testfarben mit den im Verfahrensschritt [C] ermittelten Farbwerten $L^*(m)$, $a^*(m)$ und $b^*(m)$ der entsprechenden Testfarben in einem Vergleichs 36 miteinander verglichen und aus dem Vergleich Farbdifferenzwerte $L^*(m) - L^*(s)$, $a^*(m) - a^*(s)$ und $b^*(m) - b^*(s)$ ermittelt.

Verfahrensschritt [E]

In einem Verfahrensschritt [E] werden dann aus den Farbdifferenzwerten $L^*(m) - L^*(s)$, $a^*(m) - a^*(s)$ und $b^*(m) - b^*(s)$ Korrekturfarmwerte δL^*_{rgb} , δa^*_{rgb} und δb^*_{rgb} in Form einer Korrekturwert-Tabelle berechnet und die korrigierten Farbwerte L^*_{KOR} , a^*_{KOR} und b^*_{KOR} in einer Korrekturwert-Stufe 37 durch eine gewichtete Addition von Korrekturfarmwerten δL^*_{rgb} , δa^*_{rgb} und δb^*_{rgb} und Farbwerte $L^*(s)$, $a^*(s)$ und $b^*(s)$ der angenäherten Umsetzungs-Tabelle nach Gleichung [12] ermittelt.

$$\begin{aligned} L^*_{KOR} &= L^*_{rgb} + \delta L^*_{rgb} \\ a^*_{KOR} &= a^*_{rgb} + \delta a^*_{rgb} \\ b^*_{KOR} &= b^*_{rgb} + \delta b^*_{rgb} \end{aligned} \quad [12]$$

Zur Ermittlung der korrigierten Farbwerte L^*_{KOR} , a^*_{KOR} und b^*_{KOR} können zwei Wege beschritten werden. Zum ersten können die Korrekturfarmwerte

δL^*_{rgb} , δa^*_{rgb} und δb^*_{rgb} gespeichert und dann während der eigentlichen Vorlagenabtastung nach der Kalibrierphase den Farbwerten $L^*(s)$, $a^*(s)$ und $b^*(s)$ der Umsetzungs-Tabelle laufend in der Korrekturwert-Stufe 37 hinzuaddiert werden.

Zum zweiten kann die Addition der Korrekturfarmwerte

δL^*_{rgb} , δa^*_{rgb} und δb^*_{rgb} und der Farbwerte $L^*(s)$, $a^*(s)$ und $b^*(s)$ in der Kalibrierphase erfolgen. Die korrigierten Farbwerte L^*_{KOR} , a^*_{KOR} und b^*_{KOR} werden dann in der Korrekturwert-Stufe 37 gespeichert und während der Vorlagenabtastung aus der Korrekturwert-Stufe 37 ausgelesen und weiterverarbeitet.

In zweckmäßiger Weise werden die Farbwerte $L^*(s)$, $a^*(s)$ und $b^*(s)$ der näherungsweise Umsetzungs-Tabelle und die zugehörigen Korrekturfarmwerte δL^*_{rgb} , δa^*_{rgb} und δb^*_{rgb} nur für ein Stützgerüst des theoretisch möglichen Farbraumes berechnet und die bei der späteren laufenden Farbumsetzung tatsächlich benötigten korrigierten Farbwerte L^*_{KOR} , a^*_{KOR} und b^*_{KOR} durch Interpolation im Stützgerüst ermittelt.

Bei einem Stützgerüst mit beispielsweise $32 \times 32 \times 32 = 32\,768$ Stützpunkten für die Farbwerte ist es zweckmäßig, die Eingabe-Farbkabrierung nach einem Ausgleichs-Verfahren mit einer geringeren Anzahl von Farbwerten durchzuführen.

Die Berechnung der Korrekturfarmwerte δL^*_{rgb} , δa^*_{rgb} und δb^*_{rgb} nach dem Ausgleichs-Verfahren erfolgt in vorteilhafter Weise durch eine farbmétrische Abstandsbewertung mittels einer Gewichtungs- oder Abstands-

Funktion $f(\text{rgb}, j)$ gemäß Gleichung [13],

$$\begin{aligned} \delta L^*_{\text{rgb}} &= \Sigma_i [f(\text{rgb}, j) \times (L^*_j(m) - L^*_j(s))] / \Sigma_j [f(\text{rgb}, j)] \\ \delta a^*_{\text{rgb}} &= \Sigma_i [f(\text{rgb}, j) \times (a^*_j(m) - a^*_j(s))] / \Sigma_j [f(\text{rgb}, j)] \\ 5 \quad \delta b^*_{\text{rgb}} &= \Sigma_i [f(\text{rgb}, j) \times (b^*_j(m) - b^*_j(s))] / \Sigma_j [f(\text{rgb}, j)] \end{aligned} \quad [13]$$

wobei bedeuten:

- $\delta L^*_{\text{rgb}}, \delta a^*_{\text{rgb}}, \delta b^*_{\text{rgb}}$ = KorrekturfARBwerte,
 $L^*_j(s), a^*_j(s), b^*_j(s)$ = Exakte Farbwerte einer Testfarbe j ,
 10 $L^*_j(m), a^*_j(m), b^*_j(m)$ = genäherte Farbwerte einer Testfarbe j und
 $f(\text{rgb}, j)$ = Abstands-Funktion.

Dabei läuft die Summation i über alle Farbfelder der Testvorlage (33).

Die Abstands-Funktion $f(\text{rgb}, j)$ ist in zweckmäßiger Weise eine inverse Funktion 4. Ordnung nach Gleichung [14].

$$15 \quad f(\text{rgb}, j) = 1 / [(L^*_{\text{rgb}} - L^*_j(m))^2 + (a^*_{\text{rgb}} - a^*_j(m))^2 + (b^*_{\text{rgb}} - b^*_j(m))^2] \quad [14]$$

Die Abstands-Funktion $f(\text{rgb}, j)$ berücksichtigt Farbfelder der Testvorlage (33) in der Nähe des aktuellen Stützpunktes stärker als weiter entfernte Farbfelder. Die Wahl der Abstands-Funktion bestimmt die Güte und Konvergenz des Verfahrens. Mittelwert und Standardabweichung als Kennzeichen für die Qualität der Farbumsetzung können mit den bekannten Methoden ermittelt werden.

Damit ist die Farbkalibrierung abgeschlossen und die eigentliche Abtastung der zu reproduzierenden Farbvorlage kann beginnen. Stellt sich dabei heraus, daß die Fehler und die Standardabweichung bei einem bestimmten Anwendungsfall zu groß ist, kann die Farbkalibrierung mit einer neuen angenäherten Umsetzungs-Tabelle wiederholt werden bis die gewünschte Abweichung erreicht bzw. unterschritten ist.

Literatur

- Richter, M., Einführung in die Farbmimetrik, deGruyter-Verlag Berlin 1981,
 30 Hunt, R. W. G., Measuring Color,
 J. Wiley & Sons 1989,
 CIE-Publikation No. 15.2 (1986) Colorimetry, Central Bureau of the CIE, Wien.

Patentansprüche

- 35 1. Verfahren zur Farbkalibrierung bei der Umsetzung von Farbwerten eines von einem Eingabegerät abhängigen ersten Freiraumes in die Farbwerte eines zweiten Farbraumes, bei dem
- die Übertragungsfunktion des Eingabegerätes, welche seine spektralen und elektrischen Eigenschaften berücksichtigt, ermittelt wird,
 - 40 — aus Farbwerten des ersten Farbraumes die funktionsmäßig zugehörigen Farbwerte des zweiten Farbraumes an Hand der ermittelten Übertragungsfunktion in Form einer Umsetzungs-Tabelle näherungsweise berechnet und gespeichert werden,
 - zur Gewinnung von Farbwerten des ersten Farbraumes eine Testvorlage, welche eine Anzahl definierter Testfarben enthält, mit dem Eingabegerät optoelektronisch abgetastet wird, wobei die Testvorlage jeweils dieselben Materialeigenschaften wie die mit dem Eingabegerät abzutastende Farbvorlage aufweisen soll,
 - 45 — die durch Abtasten der Testfarben gewonnenen Farbwerte des ersten Farbraumes an Hand der Umsetzungs-Tabelle in die funktionsmäßig zugeordneten Farbwerte des zweiten Farbraumes umgerechnet werden,
 - 50 — die Testfarben der Testvorlage mit einer vorgegebenen Lichtart farbmimetrisch ausgemessen werden, um gemessene Farbwerte des zweiten Farbraumes zu erhalten,
 - die durch Abtasten der Testfarben und Umrechnung an Hand der Umsetzungs-Tabelle gewonnenen Farbwerte des zweiten Farbraumes mit den durch Ausmessen der entsprechenden Testfarben gewonnenen Farbwerten des zweiten Farbraumes verglichen werden, um Farbdifferenzwerte zu gewinnen und
 - 55 — aus den gewonnenen Farbdifferenzwerten entsprechende KorrekturfARBwerte nach einem Ausgleichs-Verfahren berechnet werden, mit denen die in der Umsetzungs-Tabelle gespeicherten Farbwerte des zweiten Farbraumes korrigiert werden.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die ermittelten KorrekturfARBwerte gespeichert und nach der Kalibrierung während der laufenden Umsetzung der Farbwerte den Farbwerten der Umsetzungs-Tabelle vorzeichenrichtig hinzuaddiert werden, um die korrigierten Farbwerte des zweiten Farbraumes zu erhalten.
3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die KorrekturfARBwerte vor der laufenden Umsetzung der Farbwerte den gespeicherten Farbwerten der Umsetzungs-Tabelle vorzeichenrichtig hinzuaddiert werden, um die korrigierten Farbwerte des zweiten Farbraumes zu erhalten.
- 60 4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß
- die Farbwerte der Umsetzungs-Tabelle und die zugehörigen KorrekturfARBwerte nur für ein Stützgerüst im ersten Farbraum berechnet werden und
- 65

- die bei der laufenden Umsetzung der Farbwerte benötigten korrigierte Farbwerte des zweiten Farbraumes durch Interpolation im Stützgerüst ermittelt werden.
- 5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß die näherungsweise Berechnung der Farbwerte der Umsetzungs-Tabelle in folgenden Schritten durchgeführt wird:
 - Linearisieren der eventuell vorverzerzten Farbwerte des ersten Farbraumes,
 - Matrizierung der linearisierten Farbwerte in die entsprechenden Normfarbwerte mit Hilfe von Matrixkoeffizienten,
 - Normieren der Normfarbwerte unter Berücksichtigung der beleuchtenden Lichtart und
 - Transformieren der normierten Normfarbwerte in die Farbwerte des zweiten Farbraumes.
- 6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß der zweite Farbraum ein empfindungsgemäß gleichabständiger Farbraum, beispielsweise der CIELAB-Farbraum, ist.
- 7. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Matrixkoeffizienten bei Kenntnis der Spektralfunktion des Eingabegerätes durch eine Anpassungsrechnung ermittelt werden, wobei die Anpassung derart erfolgt, daß die Summe der Fehlerquadrate über eine große Anzahl von spektralen Stützpunkten minimal ist.
- 8. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Matrixkoeffizienten durch Ausmessen von farbmetrisch definierten Testfarben ermittelt werden.
- 9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Korrekturfarmwerte aus den näherungsweise berechneten Farbwerten der Umsetzungs-Tabelle und den farbmetrisch gemessenen Farbwerten der Testfarben mit farbmetrischer Abstandsbewertung durch eine Abstands-Funktion berechnet werden.
- 10. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß
 - die Korrekturfarmwerte nach folgenden Gleichungen berechnet werden:

$$\begin{aligned}\delta L^*_{rgb} &= \sum_j [f(rgb,j)] \times (L^*_j(m) - L^*_j(s)) / \sum_j [f(rgb,j)] \\ \delta a^*_{rgb} &= \sum_j [f(rgb,j)] \times (a^*_j(m) - a^*_j(s)) / \sum_j [f(rgb,j)] \\ \delta b^*_{rgb} &= \sum_j [f(rgb,j)] \times (b^*_j(m) - b^*_j(s)) / \sum_j [f(rgb,j)]\end{aligned}$$

— und die korrigierten Farbwerte der Umsetzungs-Tabelle aus den in den zweiten Farbraum transformierten Farbwerten des ersten Farbraumes und den Korrekturfarmwerten durch Adoption nach folgenden Gleichungen ermittelt werden:

$$\begin{aligned}L^*_{KOR} &= L^*_{rgb} + \delta L^*_{rgb} \\ a^*_{KOR} &= a^*_{rgb} + \delta a^*_{rgb} \\ b^*_{KOR} &= b^*_{rgb} + \delta b^*_{rgb}\end{aligned}$$

wobei bedeuten:

$L^*_{rgb}, a^*_{rgb}, b^*_{rgb}$ = in den zweiten Farbraum transformierte Farbwerte des ersten Farbraumes,
 $\delta L^*_{rgb}, \delta a^*_{rgb}, \delta b^*_{rgb}$ = Korrekturfarmwerte,
 $L^*_j(s), a^*_j(s), b^*_j(s)$ = farbmetrisch gemessene Farbwerte einer Testfarbe j,
 $L^*_j(m), a^*_j(m), b^*_j(m)$ = angenähert berechnete Farbwerte einer Testfarbe j,
 $f(rgb,j)$ = Abstands-Funktion.

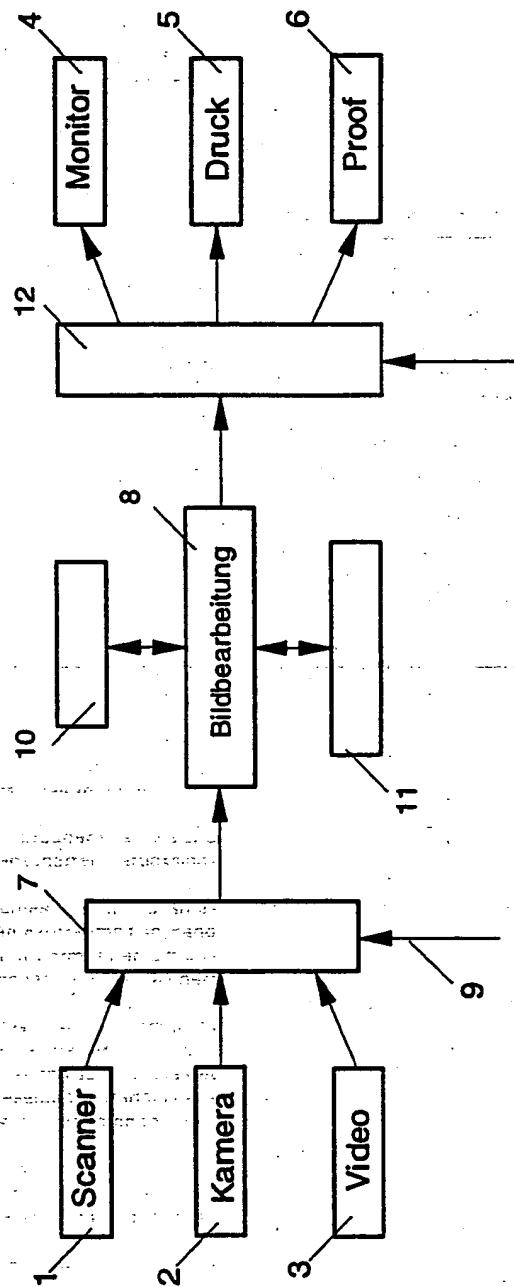
- 11. Verfahren nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß als Abstands-Funktion eine Funktion 4. Ordnung der Form:

$$f(rgb,j) = 1 / [(L^*_{rgb} - L^*_j(m))^2 + (a^*_{rgb} - a^*_j(m))^2 + (b^*_{rgb} - b^*_j(m))^2]^2$$

gewählt wird.

Hierzu 5 Seite(n) Zeichnungen

Fig. 1



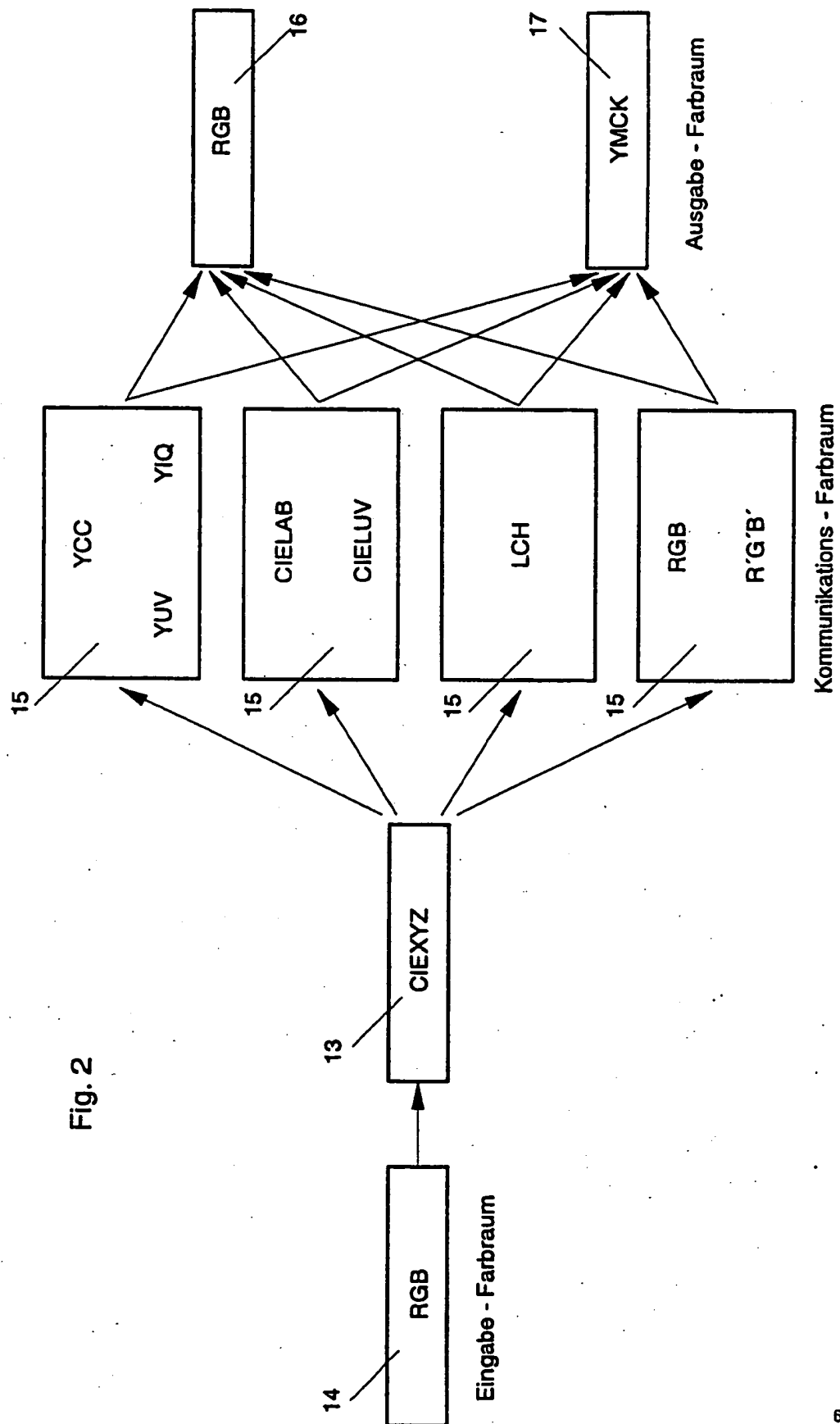


Fig. 2

